Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 433-445

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۴۵-۴۳۳

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های کارایی انرژی در نظام‌های زراعی حفاظتی مبتنی بر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط اقلیمی منطقه معتدل (مطالعه موردی: گناباد)

حمیدرضا توکلی کاخکی[1]* و مسعود قدسی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱

توکلی کاخکی، ح.، و قدسی، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص‌های کارایی انرژی در نظام‌های زراعی حفاظتی مبتنی بر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط قلیمی منطقه معتدل (مطالعه موردی: گناباد). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۴۵-۴۳۳.

چکیده

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر کشاورزی حفاظتی بر شاخص‌های انرژی در نظام‌های زراعی رایج با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط اقلیمی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گناباد به‌مدت چهار سال (۹۵-۱۳۹۱) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از سه سطح شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در کرت‌های اصلی شامل شیوه متداول خاک‌ورزی (شخم + دیسک + تسطیح + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار)، شخم کاهش یافته (چیزل پکر یا دیسک سبک + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار) و بدون شخم (کاشت مستقیم با بذرکار) و سه سطح مدیریت بقایای گیاهی شامل بدون بقایا، حفظ ۳۰٪ بقایا و حفظ ۶۰٪ بقایای گندم (*Triticum aestivum* L.) که در کرت‌های فرعی قرار داشتند. این مطالعه در سیستم تناوبی رایج منطقه شامل گندم، جو، پنبه و گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین مصرف انرژی از مقدار کل انرژی در تناوب رایج به نهاده‌های الکتریسیته، کودهای شیمیایی و سوخت به‌ترتیب با میانگین مصرف ۴۳، ۲۳ و ۱۲ درصد و کمترین مقدار مصرف انرژی به نهاده نیروی انسانی با میانگین ۰/۷ درصد تعلق داشت. همچنین نتایج تجزیه واریانس و تحلیل‌های آماری شاخص‌های انرژی نشان داد که اثر شیوه خاک‌ورزی تنها بر شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. امّا اثر بقایا و اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر هیچ کدام از شاخص‌های انرژی معنی‌دار نبودند. مقایسه میانگین مقادیر شاخص کارایی مصرف انرژی در تناوب مورد نظر نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب در دو شیوه بدون خاک‌ورزی یا کشت مستقیم و خاک‌ورزی متداول مشاهده شد، به‌نحوی که میانگین شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در شیوه بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۱ و ۹ درصد افزایش را نسبت به خاک‌ورزی متداول و خاک‌ورزی کاهش یافته نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بقایا، تناوب، خاک‌ورزی، کارایی مصرف انرژی.

مقدمه

اصولاً، رابطه بین کشاورزی و انرژی یک رابطه دوسویه است، به عبارتی،کشاورزی هم تولیدکننده و هم مصرف‌کننده انرژی می‌باشد (Singh et al., 2004)، در فعالیت‌های کشاورزی، هر مزرعه به‌عنوان یک واحد تولیدی در نظر گرفته می‌شود که در آن کشاورز با استفاده از انرژی‌های ورودی به تولید یک یا چند محصول می‌پردازد (Mohammadi et al., 2005) به عبارتی، جریان استفاده و اتلاف انرژی در بخش کشاورزی موجب شده که فعالیت‌های اجرایی این بخش از تأثیرگذارترین عوامل بر شاخص کل مصرف انرژی در کشور به‌شمار رود، به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۶ بخش کشاورزی به‌تنهایی ۳/۶ درصد از مصرف کل انرژی را به خود اختصاص داده که مقدار آن بیش از متوسط مصرف انرژی در جهان (۲/۲ درصد) بوده است (Ramazani & Zibaei, 2011). تجزیه و تحلیل جریان انرژی در سیستم‌های کشاورزی نه تنها می‌تواند در ارزیابی نقش فعالیت‌های اقتصادی بر تعادل و ثبات محیطی مفید باشد، بلکه شناخت ایجاد شده و چگونگی استفاده مؤثر از انرژی در این سیستم‌ها، می‌تواند

۱ و ۲- به‌ترتیب مربی و دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hamidre@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.80119

ضمن بهبود کارایی مصرف انرژی و نیز کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، دستیابی به تولید پایدار را نیز فراهم نماید (Nassiri et al., 2007; Rahimizadeh et al., 2007). شواهد موجود نشان می‌دهد که مصرف بیش از حد برخی نهاده‌های کشاورزی نه تنها باعث افزایش تولید نشده است، بلکه در برخی شرایط موجبات کاهش تولید را نیز فراهم نموده است (Amani, 2001). در همین رابطه امروزه در جهان توجه به رویکرد استفاده از کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بیشتر شده است. از جمله دلایل عمده این توجه کاهش مصرف انرژی، صرفه‌جویی در زمان اجرای عملیات، حفظ محیط زیست و پایداری سیستم‌های تولید می‌باشد. در این خصوص سؤال اساسی مطرح شده این است که آیا کشاورزی حفاظتی دارای بهره‌وری انرژی بالاتری نسبت به کشاورزی رایج است؟ پاسخ این سؤال در ردیابی سیر انرژی در یک سیستم زراعی نهفته است. نتایج حاصل از کشاورزی حفاظتی شامل صرفه‌جویی در مصرف سوخت و انرژی می‌باشد که با تغییر سیستم از کشاورزی رایج به کشاورزی حفاظتی کاهش هزینه‌های تولید را در بر خواهد داشت. اصولاً حفظ بقایا در سطح خاک موجب افزایش مواد آلی خاک شده و افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، حمایت از عوامل زنده و ریزجانداران همراه با فعال شدن عوامل زنده و کاهش تردد در سطح مزرعه افزایش میزان خلل و فرج، حفظ رطوبت در سطح خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تبخیر کمتر، افزایش تولید و در نهایت، افزایش بهره‌وری اقتصادی و انرژی را به‌همراه خواهد داشت. در این رابطه خان و همکاران (Khan et al., 2010) میزان مصرف انرژی و روابط انرژی مصرفی و تولیدی را برای گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) را در استرالیا بررسی کردند. نتایج مطالعه این پژوهشگران نشان داد که انرژی متعلق به کودهای شیمیایی به‌تنهایی ۴۷، ۴۳ و ۲۹ درصد از کل انرژی نهاده‌ها را در محصول گندم، برنج و جو به خود اختصاص داده است. در این مطالعه ضمن محاسبه کل انرژی‌های ورودی و خروجی گندم دارای بالاترین نرخ بهره‌وری انرژی بوده، در حالی که جو دارای بالاترین بهره‌وری مصرف آب بوده است. همچنین مقایسه دو سیستم کم‌نهاده و پرنهاده از لحاظ کارایی انرژی و میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برای ۵۰ کشاورز گندم‌کار آبی (پرنهاده) و ۵۰ کشاورز گندم‌کار دیم (کم‌نهاده) در استان خراسان شمالی نشان داد که میزان مصرف انرژی در سیستم کم‌نهاده ۹۳۵۴/۲ مگاژول و در سیستم پرنهاده ۴۵۳۶۷/۶ مگاژول و کارایی مصرف انرژی در زراعت دیم ۳/۳۸ و در زراعت آبی ۱/۴۴ بوده است (قربانی و همکاران (Ghorbani, 2011). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2008) الگوی مصرف انرژی در ایران را طی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۵ میلادی در ۲۱ محصول زراعی ایران بررسی کردند، نتایج بر اساس رگرسیون خطی نشان داد که میزان میانگین انرژی محصولات در هکتار در ایران سالانه ۲/۳۵ گیگاژول، کل انرژی تولیدی ۳۱/۸۳ پتاژول و انرژی سرانه ۰/۲۵ گیگاژول رشد داشته است. بیشترین انرژی تولیدی مربوط به چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) با ۳۹۴/۶۱ گیگاژول در هکتار و محصولاتی مانند تنباکو (*Nicotiana rustica* L.)، خیار (*Cucumis sativus* L.)، عدس (*Lens culinaris* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) به‌ترتیب با ۲۴/۷۱، ۲۲/۹۷، ۲۰/۵۲، ۱۶/۰۹، ۱۵/۳۹، ۱۴ و ۰/۰۹ گیگاژول در هکتار کمترین انرژی تولیدی را داشته‌اند. در پژوهشی ولیدیانی و همکاران (Valadyani et al., 2005) کارایی مصرف انرژی گندم در مزارع تولید بذر استان آذربایجان شرقی را بررسی کردند. این پژوهشگران کارایی مصرف انرژی را برای عملکرد بیولوژیکی (دانه و کاه) ۰/۷۷۸ گزارش کردند، در حالی‌که این کارایی مصرف برای دانه و کاه به‌طور مجزا به‌ترتیب ۰/۴۲۴ و ۰/۳۶۴ بود. آن‌ها همچنین بیان داشتند که بیشترین مصرف انرژی در تولید گندم بذری مربوط به کود نیتروژن با میزان ۲۹/۸۸ درصد و کمترین آن مربوط به نیروی انسانی با ۰/۳۹ درصد بود. ملائی و همکاران (Mollaee et al., 2008) کارایی مصرف انرژی گندم دیم را در سه منطقه شهرستان اقلید محاسبه کرده و نتیجه گرفتند که متوسط کارایی مصرف انرژی دانه در این شهرستان ۱/۰۶۲ و کارایی مصرف انرژی بیولوژیک (کاه و دانه) ۱/۶ می‌باشد. همچنین میثمی و همکاران (Maisami et al., 2008) در پژوهشی در شهرستان بناب، کارایی مصرف انرژی را برای گندم آبی برداشت شده با دست ۲/۹، برای گندم آبی با کمباین ۲/۵، برای گندم دیم ۳ /۱ و برای پیاز ۰/۷۷ را برآورد کردند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، سوخت فسیلی بیشترین مقدار (۵۰ درصد) از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده بود و بعد از آن کود شیمیایی و انرژی بذر در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. مهاجردوست و همکاران (Mohajerdoost et al., 2008) کارایی مصرف انرژی را در

شهرستان مراغه بـرای محصـولات گنـدم آبـی، جـو آبـی و یونجـه (*Medicago sativa* L.) بـه‌ترتیـب ۲/۸۹، ۳/۱۷ و ۵/۱۶ بـرآورد کردند. شاخص‌های انرژی در حقیقـت امکـان مقایسـه سیسـتم‌هـا و مطالعه جزء به جزء آن‌ها را با یکدیگر فراهم می‌کنند، به‌طوری که با مطالعه شاخص‌هـای انـرژی امکـان شـناخت از وضـعیت انـرژی در کشاورزی مهیا می‌شود. همچنـین مـی‌تـوان مراحـل مختلـف تولیـد محصول و مقایسه بازدهی انرژی در تولید محصولات مختلـف را بـا روش متفاوت در منـاطق مختلـف بررسـی کـرد (Canakci et al., 2005). طبق تحقیقات، حدود ۶۰ درصد انرژی مکانیکی مورد مصرف در کشاورزی مکانیزه مربوط به عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. دقت در نوع استفاده از ادوات و مراتب ورود به مزرعه برای هـر نـوع از ادوات خاک‌ورزی دارای اهمیت بالایی است. عملیات خاک‌ورزی سهم قابل توجهی در مقدار انرژی ورودی بـه یـک سیسـتم تولیـد محصـولات زراعی دارد. رزاقی و همکاران (Razzaghi et al., 2007) به‌منظـور ارزیابی تأثیر کاهش خـاک‌ورزی بـر انـرژی مصـرفی در تولیـد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، با اعمال سـه روش مختلـف خـاک‌ورزی تهیه بستر بذر (گاوآهن برگردان‌دار + دو بار دیسک، گاوآهن قلمی + دو بار دیسک و دیسک + دیسک) آزمایشی مزرعه‌ای در قالب طـرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج به‌دسـت آمـده نشان داد که روش‌های مختلف تهیه بستر بـذر از نظـر کـل انـرژی ورودی به مزرعه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بـود، به‌طوری که استفاده از کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث ذخیره انرژی در قالـب سـوخت و عملیـات ماشـینی شـد. امّـا روش‌های مختلف تهیه بستر بذر از نظر کل انرژی خروجی از مزرعه تفاوت معنی‌دار آماری نشان ندادند. آن‌چه که مسلم است روش‌هـای مختلفی برای ارزیابی پارامترهای مرتبط با انرژی به‌کار مـی‌رود، امّـا برای افزایش دقت تجزیه و تحلیل‌ها، طولانی بودن طول دوره مطالعه در سیستم‌های زراعی حائز اهمیت است. از این رو به نظر می‌رسد که اجرای پروژه‌هایی از این دست در نظام‌های زراعـی بتوانـد بـه‌عنـوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی‌های آتی کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. از این جهت این مطالعه با هدف ارزیابی شاخص‌های مختلف انـرژی در نظام‌های متداول زراعی جهت دستیابی و کاربرد شیوه‌های مختلف تولید برای افزایش کارایی مصرف انرژی در نظام زراعی رایج منطقه و امکان تغییر ساختار تولید محصولات زراعی مبتنی بر اصول پایـداری سیستم‌های کشاورزی، از رایج به حفاظتی طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی گناباد واقع در پـنج کیلـومتری شمال شرقی گناباد و در ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عـرض شـمالی و ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی انجام شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۰۶۰ متر و متوسط بلندمدت بارنـدگی ۱۵۱ میلـی‌متـر و حـداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق به‌ترتیب ۴۴/۲ و ۱۴/۲- درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت فصل گرم ۲۳/۷ و متوسط فصـل سـرد ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مشخصات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (ایستگاه گناباد)

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil experimental region (Gonabad station)

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	نیتروژن کل Total N (%)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg^{-1})	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg^{-1})	کربن آلی Organic C (%)	ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH
16	22	62	1.9	0.028	121	7.49	0.27	0.46	7.9

آزمایش با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گناباد در یک دوره چهار ساله (۹۵-۱۳۹۱) اجرا شد. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از سه شیوه مختلف خاک‌ورزی در کرت‌های اصلی شامل شیوه متداول خاک‌ورزی (CT[1]) (شخم + دیسک + تسطیح + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار)، شخم کاهش یافته (MT[2]) (چیزل پکر یـا دیسـک سبک + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار) و بدون شخم (NT[3]) (کاشت

1- Conventional tillage
2-Minimum tillage
3-No -tillage

مستقیم با بذرکار) و سه سطح مدیریت بقایای گیاهی شامل بدون بقایا (R_0)، حفظ ۳۰٪ بقایا (R_{30}) و حفظ ۶۰٪ (R_{60}) بقایای‌گندم که در کرت‌های فرعی قرار داشتند. در این مطالعه سیستم تناوبی رایج منطقه شامل گندم، جو، پنبه و گندم بود، لازم به ذکر است که شروع تناوب رایج با گندم و با هدف اجرای عامل بقایا در هر یک از کرت‌های آزمایشی انجام شد. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و با یک بار حرکت مستقیم بذرکار، کشت مستقیم در مزرعه انجام شد. در روش کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه دیسک یا چیزل- پکر استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی در یک مرحله انجام شد و سپس برای کشت غلات از بذرکار مستقیم و برای محصول ردیفی از ردیف‌کار استفاده شد. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام و سپس کشت غلات با خطی‌کار غلات و کاشت محصول ردیفی با ردیف‌کار انجام شد. در تیمار حفظ بقایا از عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاهان زراعی برای محاسبه میزان بقایا بر روی سطح خاک استفاده شد، بدین‌صورت‌که با تغییر ارتفاع برداشت توسط کمباین بخشی از بقایا به‌صورت ایستاده و مابقی بر روی سطح خاک پخش شد. در این مطالعه از ارقام رایج و تجارتی محصولات زراعی استفاده شد. ابعاد هر کرت فرعی آزمایشی ۳۰×۲۰ متر (۶۰۰ مترمربع) و فاصله بین دو کرت فرعی دو متر در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت اصلی ۱۸۰۰= ۶۰۰ × ۳ مترمربع و مساحت آزمایش برای یک تکرار حدود ۵۵۰۰ مترمربع و برای کل آزمایش ۱/۶ هکتار بود. در طی دوره رشد و نمو هر یک از محصولات یادداشت‌برداری‌های مورد نیاز در زمان مناسب انجام شد. برخی ازویژگی‌های زراعی هر یک از محصولات این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های زراعی هر یک از محصولات گندم، جو و پنبه

Table 2- Some of the agronomical characteristics of wheat, barley and cotton crops

محصول Crop	رقم Variety	سال Year	تاریخ کاشت Planting date	بذر Seed ($kg.ha^{-1}$)	تاریخ برداشت Harvesting date	میانگین عملکرد Yield average ($Kg.ha^{-1}$)
گندم Wheat	پارسی Parsi	2012-2013	14.11.2012	200	17.06.2013	4989
جو Barley	نصرت Nosrat	2013-2014	20.11.2013	180	16.06.2014	3490
پنبه Cotton	خرداد Khordad	2015	02.05.2015	40	17.10.2015	1997
گندم Wheat	پارسی Parsi	2015-2016	07.12.2015	200	23.06.2016	4256

محاسبه شاخص‌های انرژی با استفاده از معادلات ۱ تا ۴ انجام شد (Beheshti Tabar et al., 2010).

معادله (۱): کارایی مصرف انرژی

$$EUE = \frac{EOU\ (MJ\ ha^{-1})}{EIN(MJ\ ha^{-1})}$$

معادله (۲): انرژی ویژه

$$EE = \frac{EIN\ (MJ\ ha^{-1})}{Y(Kg\ ha^{-1})}$$

معادله (۳): انرژی خالص

$$NEG = EOU(MJ\ ha^{-1}) - EIN\ (MJ\ ha^{-1})$$

معادله (۴): بهره‌وری انرژی

$$EP = \frac{Y\ (Kg\ ha^{-1})}{EIN(MJ\ ha^{-1})}$$

در این معادلات، EUE[4]: کارایی مصرف انرژی، EOU[5] و EIN[6]: به‌ترتیب انرژی خروجی و ورودی برحسب (مگاژول در هکتار)، Y[7]: عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)، EE[8]: انرژی ویژه، NEG[9]: انرژی خالص استحصال شده و EP[10]: بهره‌وری انرژی می‌باشند (Beheshti Tabar et al., 2010). انرژی‌های ورودی و خروجی مورد مطالعه و معادل انرژی‌ها مربوطه (بر حسب مگاژول) در جدول ۳ ارائه شده است. در ادامه سهم نسبی انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم

4- Energy use efficiency
5- Energy output
6- Energy input
7-Yield
8-Specific energy
9- Net energy gain
10- Energy productivity

هر یک از محصولات در شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی مورد بررسی قرار گرفت. انرژی‌های مستقیم یا انرژی‌های که بدون واسطه در نظام‌های زراعی مصرف می‌شوند شامل نیروی انسانی، سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، آب و انرژی‌های غیرمستقیم شامل بذر مصرفی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و ماشین‌آلات بودند. تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS V. 9.2 (SAS, 2002) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۳- معادل‌های انرژی نهاده‌های ورودی و خروجی

Table 3- Equivalent energy for inputs and outputs

ورودی Input	واحد Unit	انرژی معادل Equivalent energy (M j per unit)	منابع References
نیروی انسانی Manpower	ساعت hr	1.96	Mohammadi et al. (2008)
سوخت (گازوئیل) Fuel	لیتر Lit	56.31	Erdal et al. (2007)
الکتریسیته Electricity	کیلووات بر ساعت $Kw.hr^{-1}$	3.6	Ozkan et al. (2004)
ماشین‌آلات Machinery	ساعت hr	62.7	Mohammadi et al. (2008)
نیتروژن (N) Nitrogen	کیلوگرم kg	66.14	Mohammadi & Omid (2010)
فسفر (P_2O_5) Phosphorus	کیلوگرم kg	12.44	Mohammadi & Omid (2010)
پتاسیم (K_2O) Potassium	کیلوگرم kg	11.15	Mohammadi & Omid (2010)
علف‌کش Herbicide	لیتر Lit	238	Gundogmus (2006)
آفت‌کش Pesticide	لیتر Lit	101.2	Esengum et al. (2007)
آب آبیاری Irrigation water	مترمکعب m^3	1.02	Mohammadi et al. (2008)
بذر گندم Wheat seed	کیلوگرم kg	20.1	Ghorbani et al. (2011)
بذر جو Barley seed	کیلوگرم kg	14.7	Mobtaker et al. (2010)
بذرپنبه Cotton seed	کیلوگرم kg	11.8	Yilmaz et al. (2005)
خروجی **Output**			
دانه گندم Wheat grain	کیلوگرم kg	14.48	Ghorbani et al. (2011)
کاه گندم Wheat straw	کیلوگرم kg	9.25	Ghorbani et al. (2011)
دانه جو Barley grain	کیلوگرم kg	14.7	Mobtaker et al. (2010)
کاه جو Barley straw	کیلوگرم kg	11.6	Givens et al. (1988)
پنبه Cotton	کیلوگرم kg	11.8	Yilmaz et al. (2005)

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده در خصوص میانگین مصرف انرژی برای تناوب رایج محصولات در منطقه نشان داد که بیشترین میانگین مصرف انرژی از کل انرژی مصرف شده به‌نهاده‌های ورودی الکتریسیته، کودهای شیمیایی و سوخت به‌ترتیب با میانگین ۴۲/۷۲، ۲۲/۸۵ و ۱۱/۸۷ درصد و کمترین مقدار مصرف انرژی به نهاده نیروی انسانی با میانگین ۰/۷ درصد تعلق داشته است. در خصوص نهاده الکتریسیته با توجه به حجم آب مصرف شده بیشترین و کمترین مقدار انرژی مصرف شده به‌ترتیب برای دو محصول پنبه و گندم مشاهده شدکه به نظر می‌رسد این تفاوت به بهاره و پاییزه بودن محصول مرتبط باشد (جدول ۴).

همان‌طور که اشاره شد، بیشترین میانگین مصرف انرژی برای محصولات در تناوب رایج به‌ترتیب به الکتریسیته، کودهای شیمیایی و سوخت دیزل و کمترین مقدار مصرف انرژی به نهاده نیروی انسانی تعلق داشت (جدول ۴). در این رابطه نتایج به‌دست آمده بررسی کارایی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی زراعت سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان توسط فرتوت و همکاران (Fartout Enayat et al., 2017) نشان داد که از مجموع انرژی ورودی در نظام‌های تولید سورگوم مقدار انرژی الکتریسیته پرمصرف‌ترین نهاده ورودی در بین سایر نهاده‌ها بود. این محققین بیان داشتند پس از الکتریسیته بیشترین مقدار انرژی مصرف شده در نظام‌های زراعی تولید سورگوم به کودهای شیمیایی و گازوئیل تعلق داشته است. همچنین در مطالعه دیگری سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2015) بر اساس داده‌های به‌دست آمده از مزارع خربزه در دو استان خراسان رضوی و جنوبی بیان داشتند که دو نهاده الکتریسیته و کود شیمیایی به‌ترتیب با میانگین ۴۳ و ۲۷ درصد بیشترین درصد از کل انرژی‌های ورودی را شامل شده است. در این رابطه همچنین ارزیابی کارایی مصرف انرژی ارقام مختلف برنج دانه بلند در استان گلستان توسط طاهری‌راد و همکاران (Taheri Rad et al., 2017) نشان داد که نهاده سوخت دیزل با میانگین ۳۸/۷ درصد از کل انرژی ورودی به مزارع شالی به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید شلتوک برنج مطرح می‌باشد. البته در ادامه این پژوهشگران اذعان داشتند که پس از سوخت دیزل بیشترین سهم از کل انرژی ورودی در تولید شلتوک برنج مربوط به‌الکتریسیته با میانگین ۲۹/۳ درصد می‌باشد. آن‌چه که مسلم است، از منظر نحوه کاربرد، انرژی به دو گروه انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود. در این رابطه انرژی‌های مستقیم یا به عبارتی، انرژی‌هایی که بدون واسطه در نظام‌های زراعی مصرف می‌شود شامل نیروی انسانی، سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته و آب می‌باشد و انرژی‌های غیرمستقیم شامل بذر مصرفی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و ماشین‌آلات می‌باشند. در این مطالعه، نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که سهم نسبی انرژی‌های مستقیم از کل انرژی ورودی هر یک از محصولات در تناوب رایج برای هر سه شیوه خاک‌ورزی بیش از ۶۰ درصد می‌باشد (جدول ۵). به‌عنوان مثال، سهم انرژی‌های مستقیم در تناوب رایج منطقه که شامل توالی زمانی چهار محصول گندم، جو، پنبه و گندم بود برای سه شیوه، خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی کاهش یافته و بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۶۹/۳۷، ۶۴/۶۸ و ۶۴ درصد بود. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، تغییر شیوه خاک‌ورزی از خاک‌ورزی متداول به دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و بدون شخم با کاهش مصرف انرژی‌های مستقیم به‌میزان حداقل پنج درصد همراه بود.

در ادامه نتایج تجزیه واریانس در تناوب مورد مطالعه نشان داد که اثر فاکتور اصلی شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی فقط بر شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در سطح پنج درصد ($p \leq 0.05$) معنی‌دار بود. امّا اثر بقایا و همچنین اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر هیچ یک از شاخص‌های انرژی معنی‌دار نبودند (جدول ۶). در ادامه مقایسه میانگین مقادیر شاخص کارایی مصرف انرژی در تناوب مورد نظر نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب در دو شیوه بدون خاک‌ورزی یا کشت مستقیم و خاک‌ورزی متداول مشاهده شد. به‌عبارتی، میانگین شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در شیوه بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۱ و ۹ درصد افزایش را نسبت به خاک‌ورزی متداول و خاک‌ورزی کاهش یافته نشان داد (جدول ۷).

جدول ٤- مقدار کل انرژی‌های ورودی و خروجی در تناوب زراعی مورد مطالعه
Table 4- Total amount of input and output energy in studied crop rotation

انرژی Energy	گندم Wheat (2012-13)			جو Barley (2013-14)			پنبه Cotton (2015)			گندم Wheat (2015-2016)		
ورودی Input	A†	E††	P†††	A	E	P	A	E	P	A	E	P
	ha-1	MJ.ha-1	%	ha-1	MJ.ha-1	%	ha-1	MJ.ha-1	%	ha-1	MJ.ha-1	%
نیروی انسانی (ساعت) Manpower (hr)	69	136	0.24	69	136	0.26	826	1455	2.07	69	136	0.24
ماشین‌آلات (ساعت) Machinery (hr)	14	898	1.6	14	898	1.72	14	898	1.28	14	898	1.62
سوخت (لیتر) Fuel (Lit)	129	7283	12.97	129	7283	13.95	93	5256	7.48	129	7283	13.10
نیتروژن (کیلوگرم) N (kg)	150	9921	17.67	150	9921	19	175	11575	16.47	150	9921	17.85
فسفر (کیلوگرم) P (kg)	150	1866	3.32	100	1244	2.38	150	1866	2.66	150	1866	3.36
پتاسیم (کیلوگرم) K (kg)	150	1672	2.98	100	1115	2.14	100	1115	1.59	100	1115	2.01
جمع کود (کیلوگرم) Total fertilizer (kg)	450	13459	23.97	350	12280	23.52	425	14556	20.71	400	12902	23.21
علف‌کش (لیتر) Herbicide (Lit)	10	2380	4.24	10	2380	4.56	10	2380	3.39	10	2380	4.28
الکتریسیته (کیلووات بر ساعت) Electricity ($kw.hr^{-1}$)	6179	22244	39.62	5808	20909	40.05	9997	35989	51.21	6179	22244	40.01
آب آبیاری (مترمکعب) Irrigation water (m^3)	5617	5729	10.20	5280	5385	10.32	9088	9270	13.19	5617	5729	10.31
بذر (کیلوگرم) Seed (kg)	200	4020	7.16	200	2940	5.63	40	472	0.67	200	4020	7.23
کل انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار) Total input energy ($MJ.ha^{-1}$)	–	56150	100	–	52211	100	–	70275	100	–	55593	100
خروجی Output												
دانه (کیلوگرم) Grain (kg)	4989	72242	-	3490	51306	-	-	-	-	4256	61622	-
کاه (کیلوگرم) Straw (kg)	8144	75334	-	4577	53101	-	-	-	-	9002	83268	-
پنبه (کیلوگرم) Cotton (kg)	-	-	-	-	-	-	1997	23565	-	-	-	-
کل انرژی خروجی Total output energy ($MJ.ha^{-1}$)	-	147576	-	-	104207	-	-	23565	-	-	144890	-

A†: مقدار نهاده در واحد سطح
Input per unit area
E††: معادل انرژی
Equivalent energy
P†††: درصد از کل انرژی ورودی
Percentage of total input energy

جدول ۵- سهم نسبی انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم هر یک از محصولات در شیوه‌های متفاوت خاک‌ورزی در تناوب مورد مطالعه
Table 5- Relative contribution of direct and indirect energies in different methods of soil tillage in studied crop rotation

	گندم Wheat (2012-13)			جو Barley (2013-14)			پنبه Cotton (2015)			گندم Wheat (2015-16)		
	CT†	**MT††**	**NT†††**	**CT**	**MT**	**NT**	**CT**	**MT**	**NT**	**CT**	**MT**	**NT**
انرژی‌های مستقیم Direct energies	66.47	61.35	60.66	68.08	62.83	62.13	75.88	73.01	72.69	67.07	61.99	61.32
انرژی‌های غیرمستقیم Indirect energies	33.53	38.65	39.34	31.92	37.17	37.87	24.12	26.99	27.31	32.93	38.01	38.68
جمع Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

†CT، ††MT و †††NT:به‌ترتیب نشان‌دهنده خاک‌ورزی‌های متداول، کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی است.
CT†, MT†† and NT†††: represents conventional tillage minimum tillage and no tillage, respectively.

جدول ٦- تجزیه واریانس شاخص‌های انرژی هر یک از محصولات در تناوب (آزمون f)
Table 6- Anova for energy indices of each crops in rotation (f test)

منابع تغییرات S.O.V.	کارایی مصرف انرژی EUE	انرژی ویژه EE	انرژی خالص NEG	بهره‌وری انرژی EP
خاک‌ورزی (T) Tillage (T)				
گندم Wheat (2012-13)	*	ns	ns	ns
جو Barley (2013-14)	*	ns	ns	ns
پنبه Cotton (2015)	ns	ns	ns	ns
گندم Wheat (2015-16)	*	ns	ns	ns
بقایا (R) Residue (R)				
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns
جو Barley	ns	ns	ns	ns
پنبه Cotton	ns	ns	ns	ns
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns
T × R				
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns
جو Barley	ns	ns	ns	ns
پنبه Cotton	ns	ns	ns	ns
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns

ns و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد
ns and *: are Non- significant and significant at 5% probability level, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر خاک‌ورزی بر کارایی مصرف انرژی گندم و جو

Table 7- Mean comparison of the tillage effect on energy use efficiency of wheat and barley

شیوه‌های خاک‌ورزی Tillage methods	گندم Wheat† (2012-13)	جو Barley (2013-14)	گندم Wheat (2015-16)
متداول Conventional tillage	2.42 b	1.82 b	2.34 b
کاهش یافته Minimum tillage	2.64 ab	1.94 ab	2.66 ab
کشت مستقیم No till	2.85 a	2.26 a	2.86 a

† میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

† Means within a column that have a same letter are not significant at 5% probability level.

همان‌طور که اشاره شد، بررسی‌های انجام شده در این مطالعه نشان داد که سهم نسبی انرژی‌های مستقیم شامل انرژی الکتریسیته، سوخت‌های فسیلی، نیروی انسانی و آب از کل انرژی ورودی برای هر یک از محصولات تناوبی برای هر سه شیوه خاک‌ورزی بیش از ۶۰ درصد بود. در راستای نتایج به‌دست آمده از این بررسی نتایج به‌دست آمده توسط سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2015) نیز نشان داد که در نظام‌های زراعی تولید خربزه در دو استان خراسان رضوی و جنوبی ۶۶ درصد از کل معادل انرژی مصرف شده به انواع انرژی‌های مستقیم اختصاص داشته است. همچنین بررسی و تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در زراعت پنبه استان گلستان نیز نشان داد که از کل انرژی مصرف شده برای تولید پنبه در استان گلستان ۶۰ درصد آن به نهاده‌های با منشأ کارکردی مستقیم تعلق داشته است (Ahmadi & Aghaalikhani, 2012). بر اساس تعاریف ارائه شده در اصول کشاورزی حفاظتی به‌کار بستن شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی لزوماً به‌معنای مشاهده تغییرات در شاخص‌های مورد ارزیابی نخواهد بود. به عبارتی، نه تنها مدیریت خاک به‌عنوان جزئی اساسی از سیستم زراعی بوده و خواهد بود، بلکه ارزیابی سیستم‌های مدیریت خاک از منظر اثرات بلندمدت بیشتر مورد توجه می‌باشد. از آن‌جایی که خاک حاصل اثر تقابل فرایندهای زیستی و غیرزیستی است، حفاظت خاک تمام جنبه‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی را شامل می‌شود. این امر به‌ویژه در کارکردهای تنظیم‌کنندگی موجودات زنده خاک، تشکیل خاک‌دانه‌های پایدار، تولید و تجزیه مواد آلی و ثبات جمعیت موجودات مختلف خاک‌زی کاربرد دارد. از این رو با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین تأثیرگذاری مصرف نهاده‌ها به متغیرهایی همچون الکتریسیته و کودهای شیمیایی وابسته بوده است. از طرفی، با توجه به مدیریت یکسان مصرف آب و مصرف کود در تمامی سطوح خاک‌ورزی جهت جلوگیری از اثر اختلاط عوامل ناشناخته سبب شده است که تغییرات معنی‌دار آماری مشاهده نشود. امّا با این وجود روند تغییرات معنی‌داری برای شاخص کارایی مصرف انرژی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های انرژی مورد مطالعه برای فاکتور خاک‌ورزی در نظام‌های زراعی گندم (۹۲-۱۳۹۱)، جو (۹۳-۱۳۹۲) و گندم (۹۵-۱۳۹۴) درت ناوب رایج مشاهده شد. به عبارتی، کارایی مصرف انرژی یا به بیانی دیگر، مقدار انرژی تولید شده بر حسب مگاژول در هکتار به‌ازاء یک مگاژول انرژی مصرف شده در هکتار به‌صورت میانگین برای دو نظام زراعی گندم در تناوب رایج برای شیوه بدون خاک‌ورزی یا همان کشت مستقیم به‌ترتیب ۸ و ۱۷ درصد بیشتر از دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و خاک‌ورزی متداول بود (جدول ۸). از این رو با توجه به شرایط ادافیکی و اقلیمی، ایستگاه گناباد با متوسط بارندگی بلندمدت ۱۵۱ میلی‌متر و درصد رطوبت نسبی محدود و پایین بودن میزان ماده آلی خاک (کمتر از ۰/۵ درصد) به نظر می‌رسد که تأثیر مقدار بقایا بر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک بسیار کند است. به عبارتی، برای مشاهده تأثیر باقی‌مانده بقایا در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی با توجه به شرایط اقلیمی گناباد به زمان‌های بسیار طولانی‌تری نیاز خواهد بود. بنابراین، طبیعی است که در این مطالعه شاهد عدم تأثیر فاکتور مقدار بقایا بر شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه باشیم. در مجموع، تحلیل شاخص‌های انرژی نشان می‌دهد که دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و کشت مستقیم برای گندم و جو با توجه به شرایط اقلیمی اجرای این آزمایش قابل توصیه می‌باشد. امّا برای پنبه با توجه به وابسته بودن این دو محصول به نیروی کار از کاشت تا برداشت و همچنین به‌دلیل تأثیر و ماهیت آماده‌سازی بستر بذر در دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و کشت مستقیم موجب عدم استقرار تعداد بوته لازم برای رسیدن به حداکثر عملکرد و در نتیجه، کاهش انرژی خروجی شده است.

جدول ۸- میانگین مقادیر کارایی مصرف انرژی و کل انرژی مصرف شده در هر یک از شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در تناوب رایج

Table 8- Means amounts of energy use efficiency and total use energy for each one t tillage methods in conventional rotation

شاخص Index	خاک‌ورزی متداول Conventional tillage	خاک‌ورزی کاهش یافته Minimum tillage	کشت مستقیم No tillage
کارایی مصرف انرژی EUE	1.78	1.9	2.1
کل انرژی مصرفی Total use energy (MJ.ha^{-1})	258788	224460	219434

نتیجه‌گیری

بنابراین، با توجه بـه مجمـوع نتـایج بـه‌دسـت آمـده از تحلیـل شاخص‌های انرژی به‌نظر می‌رسد استفاده از شـیوه‌هـای خـاک‌ورزی حفاظتی به‌لحاظ برتری شاخص کارایی مصرف انرژی منحصراً بـرای نظام‌های زراعی گندم و جو در شرایط اقلیمی منطقـه مـورد مطالعـه قابل توجیه و توصیه می‌باشد. با توجه به این‌که اثر بقایا بر هیچ یک از شاخص‌های انرژی معنی‌دار نبود، نتایج به‌دست آمده در رابطـه بـا مقدار کل انرژی مصرف شده بر حسب مگاژول در هکتـار بـرای هـر یک از شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در هر یک از تناوب‌هـای مـورد مطالعه نشان داد که تغییر شیوه خاک‌ورزی از شخم متداول به شخم کاهش یافته و کشت مستقیم در تناوب‌های مورد مطالعه بـا کـاهش مصرف انرژی همراه بوده است، به نحوی‌که تغییر شیوه خاک‌ورزی از شخم متداول به کشت مستقیم و کاهش یافته به‌ترتیب بـا ۱۵ و ۱۴ درصد کاهش مصرف انرژی همراه بوده است.

References

Ahmadi, M., and Aghaalikhani, M., 2012. Analysis of energy consumption in cotton cultivation in Golestan province in order to provide a solution to increase resource efficiency. Journal of Agricultural Ecology 4(2): 151-158. (In Persian with English Summary)

Amani, A.R., 2001. Investigating the social, economic, and agronomic characteristics of wheaters affecting acceptable low-livestock agriculture in Khuzestan province. Graduate Thesis, Agricultural Extension and Training, Agricultural Faculty, Tarbiat Modarres University, Iran. (In Persian with English Summary)

BeheshtiTabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S.H., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990- 2006). Renewable and Sustainable Energy Review 14:849–855.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A., 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region. Turkey. Energy Conversion and Management 46: 655–666.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and Gunduz, O., 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy 32: 35–41.

Esengun, K., Gunduz, O., and Erdal, G., 2007. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energy Conversion and Management 48: 592–598.

Fartout Enayat, F., Mousavi Neik, A.M., and Asgharipour, M.R., 2017. Investigation on energy efficiency, greenhouse gas emissions and economic analysis of forage sorghum farming in Sistan region. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 27(3): 33-43. (In Persian with English Summary)

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teymouri, M.S., Sanjani, S., Anvarkhah, S., and Aghel, H., 2011. Energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems in North Khorasan province of Iran. Applied Energy 88: 283-288.

Givens, D.I., Adamson, A.H., and Cobby, J.M., 1988. The effect of ammonization on the nutritive value of wheat, barley and oat straws. II. Digestibility and energy value measurements *in vivo* and their prediction from laboratory measurements. Animal Feed Science and Technology 19: 173-184.

Gundogmus, E., 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in turkey. Energy Conversion and Management 47: 3351-3359.

Karimi, M., BeheshtiTabar, I., and Khubbakht, G., 2008. Energy production in Iran’s agronomy. American- Eurasian

Journal of Agricultural and Environmental Sciences 4(2): 172-177.

Khan, S., Khan, M., and Latif, N., 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environment 29(1): 61–68.

Maisami, M.A., Ajabshirchi, Y., and Ranjbar, I., 2008. Energy consumption patterns in some agricultural products production and estimation of energy indicators: A case study in Bonab County. Fifth National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. p. 299. (In Persian with English Summary)

Mobtaker, H.G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S.H., and Akram, A., 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. Agricultural and Ecosystems Environment 137: 367–372

Mohammadi, H., Mousavi, S.N., Kafilzadeh, F., and Rahimi, M., 2005. Productivity of factors and inputs in sugar beet fields of Eghlid city. Sugar Beet Journal 21(3): 31-41. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, A., and Omid, M., 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy 87: 191-196.

Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., and Keyhani, A., 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. Energy Conversation and Management 49: 3566–3570.

Mohajerdoost, V., Akram, A., and Mashhoori Azar, M., 2008. Energy consumption analysis and production costs of major crops in Maragheh city. Fifth National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. p. 287. (In Persian with English Summary)

Mollaee, K., Keyhani, A., Karimi, M., Khairalipour, K., and Ghasemi, V.M., 2008. Energy ratio in dryland wheat. Case study: Eghlid township. Proceeding of 10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. August 14-17, Antalya, Turkey. p. 409.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A.R., 2007. Journal of Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press. p. 460. (In Persian with English Summary)

Ozkan. B., Akcaoz, H., and Fert, C., 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29: 39-51.

Rahimizadeh, M., Madani, H., Rezadoost, S., and Mehraban, A., 2007. Energy analysis in agricultural systems and ways to increase energy efficiency. Sixth National Energy Conference, 12 and 13 June, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)

Ramazani Amiri, H., and Zibaei, M., 2011. Investigation of the relationship between energy consumption and productivity of tomatoes, cucumbers and melons under cultivation conditions in Firouzabad, Fars province. Journal of Agricultural Economics and Development (Science and Technology of Agriculture) 25(1): 58-65. (In Persian with English Summary)

Razzaghi, M.H., Khadem Alhossaini, N., and Joukar, L., 2007. Investigating the effect of tillage reduction on energy consumption in the production of forage corn. Second national ecological conference of Iran. University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 25-26 October, Gorgan. (In Persian with English Summary)

Sayedi, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahriari, R., 2015. Evaluating energy efficiency in melon production in Razavi and south Khorasan provinces. Journal of Plant Ecophysiology 20(7): 164-174. (In Persian with English Summary)

SAS., 2002. Procedures Guide. SAS Institute, Cary, NC.

Singh. G., Singh, S., and Singh, J., 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation and Management 45: 453–465.

Taheri Rad, A.R., Khojastehpour, M., Rouhani, A., and Khoramdel, S., 2017. Investigation of energy efficiency of different cultivars of long grain rice in Golestan province. Cereal Research Journal 7(1): 51-66. (In Persian with English Summary)

Valadyani, A.R., Hassanzadeh Ghoortapeh, A., and Valadyai, R., 2005. Evaluation of energy balance in seed propagation farms of east Azarbaijan wheat crop and its impact on the environment. Journal of Agricultural Science 15(2): 12-1. (In Persian with English Summary)

Yilmaz. I., Akcaoz, H., and Ozkan, B., 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy 30: 145-155.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 433-445

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۴۵-۴۳۳

Evaluation of Energy Efficiency Indices According to Wheat (*Triticum aestivum* L.) based Crop in Conservation Agricultural Systems in Temperate Climate Region (A Case Study: Gonabad)

H. Tavakoli Kakhki[1*] and M. Ghodsi[2]
Submitted: 16-04-2019
Accepted: 22-06-2019

Tavakoli Kakhki, H., and Ghodsi, M., 2020. Evaluation of energy efficiency indices according to wheat (*Triticum aestivum* L.) based crop in conservation agricultural systems in temperate climate region (A case study: Gonabad). Journal of Agroecology 12(3):433-445.

Introduction

The relation between agriculture and energy is very tight. Agriculture itself is an energy user and energy supplier in the form of bio-energy. Energy consumption in agriculture has intensified in response to increasing populations, limited supply of arable land and desire for an increasing standard of living. In all societies, these factors have encouraged an increase in energy inputs to maximize yields, minimize labor-intensive practices, or both. Effective use of energy is one of the conditions for sustainable agricultural production, since it provides financial savings, fossil resources preservation and air pollution reduction. In developing countries, agricultural growth is essential to fostering economic development. In Iranian economy, more than 33% of the total population is engaged in agriculture sector. Recent years with the rise in world energy prices the governments has taken steps to reduce fuel and energy consumption. Energy in agricultural sector are divided into two groups of direct and indirect, direct energy is required to perform various tasks related to crop production processes such as land preparation, irrigation, threshing, harvesting and transportation of outputs. Indirect energy consists of the energy used in the manufacture of fertilizers, seeds, herbicides and farm machinery and so on. Recently, application of integrated production methods are recently considered as a means to reduce production costs, to efficiently use human labor and other inputs and to protect the environment.

Materials and Methods

This research was carried out to evaluate the effect of conservation agriculture system on energy indices in conventional rotation systems including wheat, barley and cotton. The experiment was conducted at Gonabad Research Station as a moderate climate condition between 2012 and 2016 by using split plot design in a randomized complete block design (CBD) with three replications. Two substantial criteria were investigated such as different tillage methods including conventional plowing, reduction of tillage (Minimum tillage) and direct cultivation (No tillage) as a main plots, as well asamount crop residue involving absence of residues 30 and 60%of the remains as a subplots. The area for each subplot and main plot was 600 and 1800 m^2, respectively. In this study, energy indices were calculated using equations. Besides, data analysis and mean comparisons were performed via SAS (SAS, 2002) software and Duncan test, respectively.

Results and Discussion

According to results, electricity, chemical fertilizers and fuel inputs shared the highest energy consumption from the total amount of energy in the conventional crop rotation with 43, 23 and 12%, respectively. On the other hand, the lowest energy consumption related to the input of human resources with an average of 0.7%. In addition, variance evaluation and statistical analysis of energy indices demonstrated that only energy efficiency index for wheat and barley at level ($p \leq 0.05$) dramatically affected by tillage methods. . However, the effect of residues and interaction between soil tillage × residues on other energy indices was not significant. Comparison of average values of energy use efficiency index in the conventional rotation illustrated that the highest and lowest values of this index were observed in two methods without soil tillage or direct planting and soil tillage or

1 and 2- Instructor and Associate Professor Researcher of Agronomical and Horticultural Science Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO,Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hamidre@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.80119

customary tillage. Therefore, the average of energy use efficiency index for wheat and barley crops in non-tillage method was represented increasing 21 and 9%, respectively, than that of conventional tillage and minimum tillage methods.

Conclusion

Consequently, based on data analysis, it seems that the implementation of conservation agricultural systems with various tillage procedures (non – tillage or minimum tillage) to enhane energy use efficiency is exclusively recommended for wheat and barley agronomic systems in climate condition of this study.

Keywords: Crop residue, Crop rotation, Energy use efficiency, Tillage.